

团 体 标 准

T/CI 1171.1—2025

智能制造的多 CPU 平行分布、并行 处理、多层递阶的智能体系结构 第 1 部分：通用技术要求

**Multi-CPU parallel distribution, parallel processing, multi-level hierarchical
intelligent architecture of intelligent manufacturing—
Part 1: General technical requirements**

2025-09-12 发布

2025-09-12 实施

中国国际科技促进会 发布
中国标准出版社 出版

目 次

前言	Ⅲ
引言	Ⅳ
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 智能制造体系结构总体设计通则	2
5 智能制造装备体系结构总体设计	4
6 智能制造技术设计原则要求	7
7 智能制造技术详细设计要求	10
8 技术开发人员要求	12
参考文献	13

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件是 T/CI 1171《智能制造的多CPU平行分布、并行处理、多层递阶的智能体系结构》的第1部分。T/CI 1171已经发布了以下部分：

——第1部分：通用技术要求。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由四川省自动化仪表研究所提出。

本文件由中国国际科技促进会归口。

本文件起草单位：四川省自动化仪表研究所、西南科技大学信息与控制工程学院、四川中合美物联网科技发展有限公司、西南科大四川天府新区创新研究院、北京众企惟信科技有限公司。

本文件主要起草人：汪道辉、张华、孙熊岳、陶刚、霍建文、周怀芳、龚克、冯湘。

引 言

智能制造(Intelligent Manufacturing, IM)是一种新兴的制造技术模式。这种技术模式是在制造业的制造装备的各个环节中,或在制造整个工艺过程的各个环节中,将机械、电子电气、制造操作、工艺、管理、检测、控制等学科技术与智能技术即工程智能技术(Engineering Intelligence, EI)和/或人工智能技术(Artificial Intelligence, AI)深度融合,以一种高度集成的方式,支持产品全生命周期中的设计、生产、管理、销售、售后技术服务一直到报废处理的全过程,使得制造产业可持续发展、包容性发展、智能化发展。也有人将智能制造定义为“自感知、自决策、自执行、自学习、自适应、自组织、自协调”的现代制造过程。早在20世纪80年代,世界主要科技国家美、英、日、法、德等即已步入智能制造时代。为了解决更高要求的制造技术问题和数控机床技术问题,这些国家在体系架构上广泛采用了多CPU平行分布、并行处理和多层次递阶的硬件体系架构和关联、协调的软件体系架构。

我国设立了基于面向中国2050年工程技术难题“智能制造装备的多CPU并行分布AI体系结构”项目,开展了能够体现我国新质生产力智能制造技术和装备发展需求,具有全部自主知识产权,模仿人脑结构与智能的,以平行分布和并行信息处理为主要特征的分部位、多层递阶、串并联有机组合的,适用于智能制造装备控制系统的硬件软件智能体系结构的研发工作。

T/CI 1171《智能制造的多CPU平行分布、并行处理、多层递阶的智能体系结构》基于该项目的前期研发与试点应用成果制定,体现了对该智能体系的通用技术要求、技术开发成果产业化转化技术要求、智能体系结构中融入的高技术的技术要求、技术开发人员培训等方面的标准化需求,拟由四个部分构成。

- 第1部分:通用技术要求。目的在于说明该智能体系结构的总体架构与通用技术要求。本部分将聚焦智能制造技术和智能制造装备的多CPU平行分布、并行处理、多层递阶的硬件体系结构和关联、协调的软件体系结构构成的智能体系构建的基本原则、总体技术开发要求等主要内容。
- 第2部分:技术开发成果产业化转化。目的在于说明该智能体系结构的技术开发成果转化为产品或装备的全部生命周期过程中的技术要求。
- 第3部分:智能体系结构中必须融入的高技术要求。目的在于说明该智能体系结构的产品或装备中必须融合新型自动化技术、适用智能技术、落地数字化技术、底层网络技术、多层次高度可靠性技术的所有技术的技术要求。
- 第4部分:智能体系结构技术开发人员培训。目的在于说明开发该智能体系结构产品或装备的技术人员培训的主要技术内容、培训方式方法和考核方面的技术要求。

智能制造的多CPU平行分布、并行处理、多层递阶的智能体系结构

第1部分：通用技术要求

1 范围

本文件规定了各类智能制造装备底层硬件软件体系结构的总体要求、设计内容、设计基本规范、设计基本要求以及对于技术人员的基本要求。

本文件适用于制造业各大类、中类、小类行业智能制造装备与系统的设计开发、建设部署与实施运维。其他类型智能装备设计及实施参照使用。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中,注日期的引用文件,仅该日期对应的版本适用于本文件;不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

- GB/T 39116—2020 智能制造能力成熟度模型
- GB/T 40647—2021 智能制造 系统架构
- GB/T 42137—2022 离散型智能制造能力建设指南
- GB/T 42138—2022 流程型智能制造能力建设指南
- T/CI 1148 智能制造工程技术人员职业技术技能等级评定

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

智能 intelligence

为了有效地达到某种比传统技术预期更高的目的,或者在复杂的、不确定性的环境、危险场合、要求高可靠性、长寿命、高效率等情况下,利用自感知、自决策、自执行、自学习、自适应、自组织、自协调等现代的新方法和新手段进行信息处理或过程处理的新能力、新技术。

注:主要的代表技术是工程智能技术和人工智能技术。

3.2

智能制造 intelligent manufacturing; IM

在产品制造的各个环节中,或在包含各环节的整个制造工艺流程中,将机械、电子电气、制造操作、工艺、管理、检测、控制等学科技术与智能技术即工程智能技术和人工智能技术高度融合,以一种高度集成的方式,支持产品全生命周期中的设计、生产、管理、销售、售后技术服务一直到报废处理的全过程智能处理的制造模式。

注:智能制造也能被定义为“自感知、自决策、自执行、自学习、自适应、自组织、自协调”的现代制造过程。

3.3

智能制造装备 intelligent manufacturing equipment

具备智能制造自感知、自决策、自执行、自学习、自适应、自组织和协调现代制造功能,以应对现代对

于制造业更复杂工艺、更多不确定性工艺的制造装备。

注：智能制造装备至少要具备三个要素，即感知要素、运动要素和思维要素。也有人将智能制造装备称为智能机器。

3.4

智能制造装备硬件体系结构 **intelligent manufacturing equipment hardware architecture**

多CPU、平行分布、并行处理、多层递阶并融合入工程智能技术和人工智能技术智能化功能的硬件体系结构。

3.5

智能制造装备软件体系结构 **intelligent manufacturing equipment software architecture**

在自动化基础上，对于制造工艺中本来存在关联、协调关系的多个参数，解决其多输入、多输出、多因素、多任务等关联、协调控制问题，同时解决来自外部、内部的干扰、生产工艺中大量不确定性技术问题，使得智能制造系统具有很强的自适应、自学习、自组织和协调能力，大幅度提高制造精准质量的软件体系结构。

3.6

信息物理系统 **cyber-physical systems; CPS**

通过集成先进的感知、计算、通信、控制等信息技术和自动控制技术，构建的物理空间与信息空间中人、机、物、环境、信息等要素相互映射、适时交互、高效协同的复杂系统，实现系统内资源配置和运行的按需响应、快速迭代、动态优化。

3.7

工程智能 **engineering intelligence; EI**

与智能化知识演变结合的全新工程技术，其常见典型代表有智能检测技术、智能控制技术、智能信号处理技术、智能故障诊断与容错技术等。

注：当前国际上最新发展的EI技术包括：神经形态硬件、人体机能增强、脑机接口、增强数据挖掘、边缘计算、量子计算、5G技术、无服务器Paas、数字孪生、智能工作空间、智能机器人、智能微尘、会话式用户界面、立体显示、4D打印等。

3.8

人工智能 **artificial intelligence; AI**

由人制造出来的机器所表现出来的智能。

注1：也称机器智能。

注2：通常人工智能是指通过普通计算机程序来呈现人类智能的技术，AI的核心问题包括建构能够跟人类甚至超卓的推理、知识、规划、学习、交流、感知、移物、使用工具和操控机械的能力等。

4 智能制造体系结构总体设计通则

4.1 一般要求

4.1.1 自主创新开发

智能制造体系结构的技术开发应坚持基于底层的创新型的、自主知识产权型的硬件软件开发，宜避免不加甄别地借用现成传统技术。

4.1.2 采用新型自动化技术

在智能制造技术开发的全过程中，应全面地改进传统的自动控制技术，将多参数关联、协调调节、以对于不确定问题调节为主以及对于控制整体的状态诊断与弥补性控制为主要控制任务等全新技术用以全方位改进自动控制技术。

4.1.3 融合智能技术

在智能制造技术开发的全过程中,应全面地、直接地融合入适合、可用的工程智能技术、仿人智慧智能技术和人工智能技术。

4.1.4 融合数字技术

在智能制造技术开发的全过程中,应全面地、直接地融合入适合、可用的数字化技术和数据融合技术,采用尽可能多的数字化技术和数据融合技术来改造传统的模拟检测装置、模拟执行装置、模拟信息传输装置、模拟信息存储装置和人-机界面装置,以此尽量降低硬件成本而又极大地提升系统信息处理能力。

4.1.5 融合底层网络技术

在智能制造技术开发的全过程中,应全面地、直接地融合入最底层的、快速传输的总线技术或底层网络技术,通常不要简单借用云计算技术或边缘计算技术或通用信息传输技术(例如RS-232、RS-485、IIC、CAN等),除非应用于次要的非体系结构内的其他信息传输,以免影响整个体系信息传输速率。

4.1.6 融合多层次高度可靠性技术

在开发过程中应将可靠性放在所有技术的首位,而且应将所有适合的可靠性技术如各种冗余技术、互监督技术、控制状态的诊断和控制不到位问题的实时弥补性控制的技术等尽可能充足地叠加应用在所开发装备中,宜力争将故障智能诊断和容错技术应用于所开发装备中。

4.2 智能制造信息系统总体设计要求

4.2.1 信息系统基础数据采集于生产过程现场

在智能制造信息系统的建设、开发过程中,应充分保障信息系统的几乎所有基础数据直接或间接地、实时地来源于生产过程现场,通过智能制造系统中的自动化仪表直接、实时采集,也可通过智能制造装备对于基础数据信息进行实时处理、演绎、转化、统计等方法取得,宜保障基础数据的实时性和完整性。

4.2.2 统一性(整体性、一致性)

在智能制造装备数字、网络系统设计时应充分考虑制造企业与相应应用客户以及各管理部门之间的一系列关系,整体设计规划中应保障各种信息资源的有机整合和在不同使用者之间的通畅的信息交流。为此,应充分关注数据的准确选用和数据的准确定义。在基础信息一致性方面,在数据表达格式等方面仔细调研,做到即使在不同的使用者之间,每一数据都具有极强的代表性和与其他同类信息的关联性。以便于采用较少数据承载更大量完整信息,减少数据冗余,让数据库高度精简又高度充实、准确,充分保障数据存储的极大优化。

4.2.3 先进性和成熟性

在智能制造装备数字、网络系统设计中应采用具有国际国内先进水平、并符合国际发展趋势的成熟的技术、标准体系和先进的管理理念,借鉴国内外目前成熟的主流网络和综合信息系统的体系结构,以保证系统具有长的生命力和跨平台应用的扩展能力,让所设计系统具备长远发展的潜力。

4.2.4 适用性(实用性)

所设计智能制造装备数字、网络系统应具备很高的实用性,主要体现在装备性能价格比高,易使用、易维护、易维修,运行费用低,寿命长,又便于运维管理。

4.2.5 标准化、兼容性和开放性

系统各项技术应遵循国际标准、国家标准、行业或企业相关标准规范,应体现很好的兼容性,即在国内、国际不同厂商、不同系统、不同平台、不同版本、不同应用环境的情况下都能够有尽可能好的兼容性。系统应用平台技术应充分开放,即在网络、数据应用中对于硬件环境、软件环境、通信环境、操作系统平台之间的相互依赖尽可能小,适应不同数据库、多样化服务的数据流畅交换。在开放的前提下也同时充分保证系统的安全性。

4.2.6 高可靠性、容错性和高安全性

智能体系数字、网络系统设计和数据架构设计中应大量运用可靠性技术,从系统结构、技术举措、管理辅助等措施中增强系统可靠性、稳定性、强壮性和健壮性,从硬件和软件两方面给予系统足够的抗干扰能力,同时大量运用容错技术,把各种可能的风险降至最低,大幅度降低平均故障间隔时间(MTBF)。信息系统设计中还应在采用加密技术、权限运用等技术措施前提下,加强对于信息资源的保护与隔离,采用有效安全、保密技术措施充分保护用户安全、数据安全、运行安全。同时还采取数据库备份与恢复机制等进一步保障系统的安全性。

4.2.7 可扩展性

信息系统设计应充分照顾到业务未来发展的需要,尽量降低各功能模块耦合度,尽量增强各功能模块兼容性、灵活性。设计中大量采用结构化、模块化方法,以便在增加功能、增强性能时,无须推倒重来,让扩充更平滑,升级更容易。

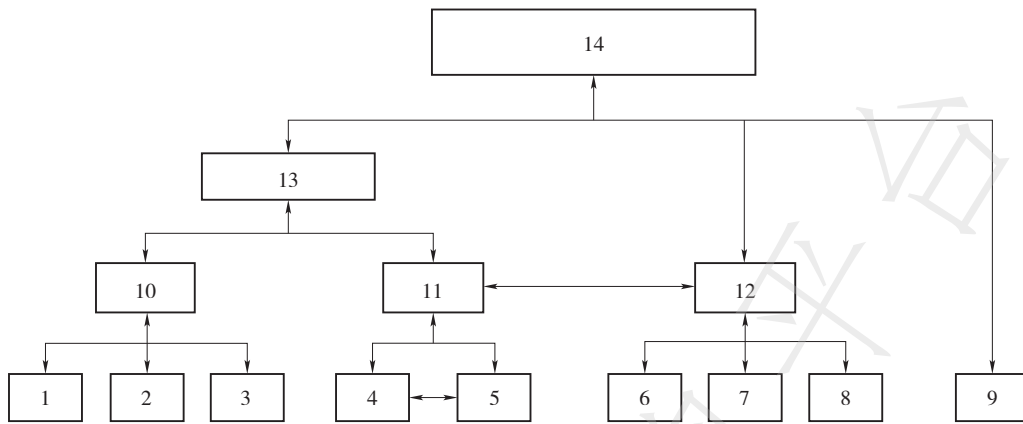
5 智能制造装备体系结构总体设计

5.1 智能制造装备硬件体系结构设计

5.1.1 智能制造装备控制系统,即智能制造信息物理系统的硬件设计应符合 GB/T 40647—2021 中 4.2.1、4.3.1、4.3.2 和 4.4.1 的规定。

5.1.2 智能制造装备控制系统,即智能制造信息物理系统的硬件体系结构应采用多 CPU 的结构分级、任务分层、处理时序过程分段的结构平行分布和功能并行运行并多层递阶运行的方案,以应对多参数关联、协调的复杂工艺过程以及大量内、外部干扰的处理。智能制造装备控制系统的体系结构采用将复杂工艺过程的所有任务以“化整为零”的核心思路分配给在各级、各层上以 CPU 为核心的子系统,并形成所有 CPU 关联、协调地运行。智能制造装备控制系统的硬件体系结构示意图见图 1。

如图 1 中所示,智能制造装备硬件是由多级以 CPU 为核心的子系统组成。图中每一个小框即由 CPU、RAM、ROM 以及 I/O 接口芯片等组成的子系统(按需组成,并非每个子系统上述元件器件都应具备,但 CPU 是必有的)。子系统处于图中下层的属于下级子系统,如图 1 中 1 号~9 号子系统。子系统处于图中上层的属于上级子系统,如图 1 中 10 号~12 号子系统即属于 1 号~9 号子系统的上级子系统。越往上的层级越高,如图 1 中 13 号子系统层级高于 10 号~12 号子系统,而 14 号子系统层级高于 13 号子系统。其中带箭头的连线表示同级或上下级子系统相互之间的信息通信关系。



注：图中所示硬件系统只是一个特定示例，其表达了各级子系统上下级之间、同级之间的结构和通信关系，并非所有智能制造装备都是这样一种结构。各级子系统的数量、组成、排列以及两两相互之间是否通信以及通信关系构成，都视任务具体需要而定。

图1 智能制造装备硬件系统基本参考体系结构

5.1.3 在开发过程中，应让越往下级的子系统担负越多的采集、执行或控制方面的具体任务，而尽量少担负或不担负决策、协调的任务；因此越往下级，子系统数量越多，并且其构成越复杂，采用的元件、器件越多，必要时可能同时用到CPU、RAM、ROM和I/O接口中的多种元件器件。在开发过程中，应让越往上级的子系统担负更多的决策、协调的任务，而较少担负采集、执行或控制方面的具体任务；因此越往上级，子系统数量越少，并且其构成越简单，采用的元件、器件越少，多数情况下可能只用到CPU。

5.1.4 在任何两个子系统之间的信息传输通道完全根据需要设置，需要则设置，不需要则不设置。通常任何下级子系统应同其直接联系的上级子系统直接交换信息，如图1中1号、2号、3号子系统对于其上级10号子系统都设置有信息交换通道。而同级子系统之间根据需要设置通信通道，如图1中4号、5号子系统之间设置有信息交换通道，而1号、2号、3号子系统以及6号、7号、8号子系统之间则未设置信息交换通道。下级子系统根据需要可以越级与再上级子系统之间产生信息交换关系，如图1中12号子系统与再上级14号子系统之间、9号子系统与再上级14号子系统之间都属于这种状况。

5.1.5 在开发过程中，子系统与子系统之间的信息传输通道可采用公用RAM（如双口RAM、FIFO等）传输信息或者采用缓冲器、锁存器等器件传输信息或者通过共用数据、地址、控制总线完成传输信息任务。

5.1.6 传输8位一字节信息过程执行时间段宜控制在若干 μs 或若干 ns 级别以内。

注：在智能制造底层技术开发中通常不允许在子系统与子系统之间采用系统外部通信的常用接口和方法，如RS-232、RS-485、CAN总线等，因为这类信息传输模式传输8位一字节信息过程执行时间段通常在 ms 级别内。除非其上层应用技术中对于时序要求不严格的那些部分，方能采用系统外部通信的常用接口和方法。

5.1.7 在该系统设计过程中，应将庞杂的大问题化整为零，采取多任务“多层递阶”的方法保证复杂任务分解成的各个关联小任务之间的密切关联与协同。

5.1.8 为保证在有限时间段内协调、关联地完成整个系统所担负的复杂任务，在任务分配之初应保障每个CPU以及该CPU所属子系统所分配任务都能够顺利地在系统统一约定的执行周期内顺利完成。

5.1.9 所设计硬件结构应实现大量信息同时、并行采集、预处理、交互传输、融合、再交互传输、再融合。所设计硬件结构应保证对大量信息同时地分部位、分层面、交互地、并行地进行处理。所设计结果应充分体现系统平行分布、交互并行处理信息的突出、显著特征。

5.2 智能制造装备软件体系结构设计

5.2.1 智能制造装备的软件体系结构设计应符合 GB/T 40647—2021 中 4.2.1、4.3.1、4.3.2 和 4.4.1 的规定。

5.2.2 智能制造装备的软件体系结构应符合 GB/T 42137—2022 和 GB/T 42138—2022 中 7.1、7.2、7.3、7.4 和 7.5 的规定。

5.2.3 智能制造装备在软件体系结构设计中应配合硬件体系结构设计着重解决智能制造中两个关键内涵技术问题。即第一是应在多输入、多输出、多参数、多因素、多任务等复杂控制任务中,将相互存在关联关系的各参数、各因素、各任务等实现完全关联的、协调的调节。第二是应自适应地克服众多内部、外部的干扰。

5.2.4 智能制造装备在软件体系结构设计中应满足存在相互关联关系的诸多任务在时序维度上满足“同时”的程序操作。即工艺中所有相互关联的参数(无论多少,几个、几十个)都应是并行的、“同时”进行处理(同时采集各自参数、同时进行各自决策运算、同时将各自决策结果输出执行),以保证所有具备相互关联关系的工艺参数关联、协调地进行调节。

5.2.5 软件设计应体现在体系结构上采用结构分级、任务分层、处理时序过程分段的结构平行分布和功能并行运行并且多层递阶运行的方案。

5.2.6 软件设计中应采取复杂任务“化整为零”的方法,将复杂任务分解成各个协调、关联的小任务,应充分保证各个子任务之间的密切关联与协同。

5.2.7 软件设计中应采取复杂任务“多层递阶”的方法。这里不同级别子系统所担负的任务是有区别的,越往下层担负越具体、越细小的任务;越往上层越具备通观全局和协调的功能。软件系统全体都应充分保证有机协调、关联在一起。

5.2.8 在该系统软件设计过程中,将庞杂的大问题化整为零分解成多个分配给不同 CPU 的关联小任务的过程中,宜促使各小任务执行的难度、执行的时序尽量趋同,从而使得各小任务都能够在规定时间内完成各自任务,以实现所有任务的关联和协同。

5.2.9 在整个系统和任何子系统软件设计中,应对于时序进程进行仔细的统筹与分配,反复核实、反复修改,避免出现时序不足、不能够按时完成任务的情况发生。

注:如果软件设计中想尽办法都无从满足时序要求,则应将硬件设计和软件设计推倒重来,直到硬件、软件能够顺利完成为止。

5.2.10 软件编制中许多子任务时序安排多数情况下以 μs 、 ns 级别要求,通常不以 ms 级别要求,除非个别情况下对时序要求不高,能够满足要求。

5.2.11 在程序编制中应贯彻细粒度的“切分-切换”的时序设计方法,使各子系统所采用 F. Neumann 串行执行机制可模拟并行机制运行,在可能的范围下,使简单的单片机或底层嵌入式系统实现类似多线程处理器的性能和处理能力。

“切分-切换”,就是在多个程序功能模块进程的安排上并非将某模块程序功能从头至尾执行完再依次执行另外的模块程序功能,而是利用某程序功能模块从激励后到响应之前的一个延时等待的过程,用来执行其他功能模块程序。

“切分”,就是把程序功能模块尽量划分为细分的小分模块,如激励分模块和响应分模块,每次执行时,只根据执行进程与状况进入其中一个小分模块执行,由于模块短小,执行时间大幅度缩短。“切换”,是为了照顾到在上述功能程序模块执行全周期的时段中还有另外程序模块需要执行,而利用该程序模块执行其激励分模块之后等待执行其响应分模块之间的这个间歇时段,转去执行其他功能程序模块,以不延误所有功能的正常进行,并充分保障快速性为准则。

5.2.12 在软件开发过程中应充分保障技术开发细粒度化、精准化,以满足智能处理系统对于功能、性能极高的要求。

6 智能制造技术设计原则要求

6.1 智能制造装备整体详细设计原则要求

6.1.1 全生命周期要求

设计应当从装备研发、装备定型转化、装备生产和销售、装备应用五个阶段即装备的全生命周期出发,即不仅要满足装备功能和性能的要求,还要充分满足到装备定型转化中、装备生产中和销售中、装备应用中的所有技术需求。

- a) 研发方面的技术要求可参考第5章中规定的所有内容。
- b) 在装备从设计阶段到定型阶段的转化过程中至少应满足以下技术要求:
 - 1) 符合国家、行业、企业或国际相关技术标准与规范,还应通过3C认证,同时满足相关标准、规范中关于电气安全性、环境适应性、电磁兼容性、可靠性、可制造性、可测性、可维修性等要求;
 - 2) 技术转化过程中,应综合考虑从生产、工艺、质量保障、生产管理、仓储、物流、销售、售后服务、报废装备回收等装备全生命周期中各阶段所有必须的辅助技术举措和辅助技术要求,都应进行相应的细化设计。
- c) 装备生产时工艺、质量、标准、检验、技术安全、环境保护以及涉及生产人员素质等多方面的技术要求,都应按照相应国家标准、行业标准或企业标准一一核查、落实。
- d) 装备在销售过程中所会遇到的如物流、运输、仓储等技术要求,都应按照相应国家标准、行业标准或企业标准一一核查、落实。
- e) 装备在应用过程中所会遇到的如售后服务、易损件更换、维护、维修、程序版本升级等技术要求,都应按照相应国家标准、行业标准或企业标准一一核查、落实。

6.1.2 可靠性和稳定性要求

在智能制造装备设计过程中应充分考虑到其在各种各样应用环境中呈现出高度的可靠性和性能的稳定性。

- a) 设计中应充分考虑应用环境中的各种状况,保证系统在运行中不发生因设计原因产生不可靠或不稳定的现象。
- b) 设计中应充分考虑应用环境中的各种干扰因素,如电网电压波动、临时掉电、强电场强磁场干扰、高温低温或湿热等干扰以及操作员偶然误操作等,不致在运行中因这些干扰产生死机、程序严重跑飞等不可挽回、控制执行出错或其他出错现象,以致影响系统的正常运行,造成后果。即系统应有很好的健壮性。
- c) 应保障系统有很好的强壮性,避免长期运行产生明显性能衰退的现象。
- d) 应采用静态、动态故障诊断、容错等新技术,以避免系统在发生元器件偶然故障、周期性故障或操作员偶然误操作等情况下产生严重后果,宜力争做到在偶然故障或周期性故障情况下不产生后果。
- e) 在智能制造装备进行生产的全过程中可采用自行开发的监测、测试装置在相关质量监测控制点有效监测装备所生产产品的性能和质量。

6.1.3 功能完备和性能优良要求

在智能制造装备的设计过程中应采取各种各样先进的技术以保障装备功能的完备性和性能的优

良性。

- a) 系统应具有很强的检测、处理、判别、存贮功能,以支持系统设计方案提出的所有功能的要求。
- b) 由于整个系统是采用多处理器、多数据传送通道的分布式检测、处理、传输、存贮系统结构,故强大的数据传送功能是应具备的,且应保障数据在处理、存贮、传送过程中的安全性、可靠性、保密性、一致性和准确性。
- c) 系统的性能应满足生产现场对于该装备性能指标的相关规定,并宜达到国内先进水平或国际先进水平。
- d) 功能的完备性和性能的优良性,应体现在使用的方便性和维护、维修的便捷性上。无论操作或维护、维修都不应对操作者和维护、维修者的文化素质、技术素质提出过高的要求。在条件允许的情况下,宜开发采用计算机辅助操作或辅助维护、维修的功能。

6.1.4 先进性、标准化、通用性、开放兼容性和可扩展性要求

在智能制造装备设计过程中应充分采用国内、国际最先进的标准、规范和前沿技术,以保障装备的先进性、标准化、通用性、开放兼容性和可扩展性等各方面要求。

- a) 该类装备的先进性,应体现在所采用的设计、开发理念及手段、所采用的标准与规范、所采用的元器件和所采用的技术的先进性上,宜使装备具有尽可能长的工作寿命和尽可能前卫的技术先进性。
- b) 系统设计中应尽量采用国际、国内相应标准规范,如传输、处理等相关标准,以使系统更趋标准化,更具通用性及一定的互换性,更具开放兼容性,便于随时吸收国、内外优秀的硬件器件、技术和软件资源等用于本产品的更新。
- c) 在硬、软件的设计上均应考虑开放兼容的原则,采用向上兼容的方式,在装备的整体性、综合性、规划性方面应全面考虑,在设计中宜采用模块化硬件、软件设计方法,宜采用API模块方式,以便于将来可以很容易地将少功能装备扩展成多功能装备,将简单装备扩展成系列化装备。亦使装备的升格十分容易,极大地保护用户的利益。
- d) 在考虑先进性、标准化、通用性、开放兼容性和可扩展性的同时,应注意当时及今后很长时期内的国际环境,应将立足国内自主、自力更生作为最高准则。

6.1.5 可维护性要求

在设计智能制造装备的过程中,应考虑到装备在生产过程中能够方便地、容易地进行维护、维修,并尽量提高装备的平均故障间隔时间(MTBF)。

- a) 系统应具有鲁棒性,保证系统中的一般性故障不致影响整个系统的功能。
- b) 系统本身的故障状况,应能通过系统的自诊断或各部分的相互诊断给出故障类型和/或状态判断,并通过上位监控部分或专用维修监测系统给出故障报警和故障状况提示,以指示维护、维修人员维修。
- c) 系统中硬件产生故障,可通过软件判别后采用相关接口指示故障或故障容错处理程序迅速排除故障。

6.1.6 经济效益要求

在智能制造装备的设计过程中,还应充分满足装备经济性、效益性的要求。

- a) 应在满足功能、性能要求的前提下,投入最省,创造高的性价比。
- b) 宜力争研制、开发、定型、生产周期尽可能短。
- c) 应充分发掘装备的经济效益和社会效益。

6.1.7 保密性要求

所开发、生产的智能制造装备系统宜具有信息安全和技术的保密性,以充分保障中国自主技术发展的权益。

6.2 硬件详细设计原则要求

6.2.1 智能制造装备硬件设计中的元件、器件、组件选择宜立足国内市场,立足通用元器件,立足中、小规模元器件,宜尽量不带元器件生产企业知识产权的原则进行选取,建议多采用国内企业大规模生产、国内市场基本上不会断货的单片机、嵌入式CPU、RAM、ROM以及通用I/O接口等组成系统。

6.2.2 智能制造装备硬件设计中应首先保证逻辑设计(原理图设计)、负载校核、时序设计三位一体,其中尤其时序设计应仔细考核,如果元器件数据手册中有时序图和时序参数可参考的,应根据这些数据明确画出硬件、软件的激励、响应相互之间的完整时序设计图,并留有充足的响应时序裕量,否则重新规划设计。如果元器件数据手册中没有时序图和时序参数可参考的,应开发试验装置或创造试验条件在实际试验中确定时序参数,不应在毫无时序数据严格依据的情况下只靠简单的功能试验验证判断能否通过。

6.2.3 智能制造装备硬件设计通过6.2.2规定的三位一体的设计后,应召集有经验的相关专家、技术人员审核、预判设计成果能否顺利通过国家3C认证以及6.1规定一系列要求。

6.2.4 智能制造装备硬件设计尽量采用模块化设计方案,以避免有问题时全部推倒重来,同时有利于后续装备其他规格、型号的借用。

6.2.5 智能制造装备硬件设计应融合入尽可能足够的抗干扰措施,并充分配合软件开发中的增强可靠性措施,以利提升装备可靠性。

6.2.6 智能制造装备硬件设计开发软件工具宜采用国内或比较友好国家的工业软件工具,宜尽量提前防范域外企业对于中国工业软件开发工具断供的情况发生。

6.3 软件详细设计原则要求

6.3.1 采用基于自主底层硬件、软件开发方法,以保证开发出具备自主知识产权的核心技术和关键技术。

6.3.2 智能制造装备软件设计中应分层次进行设计,至少也应分成现场接口硬件底层和应用层。各层次由于面向对象的不同以及需求不同,可以采取不同软件开发手段、开发工具施行。

6.3.3 直接与硬件接口的底层软件应采用汇编语言软件开发工具开发,以充分保证激励与响应过程的时序严苛要求,以全面实现新型自动化技术、适用智能技术、落地数字化技术和数据融合技术、底层快速信息传输技术以及多层次高度可靠性技术全面融入控制过程。

6.3.4 智能制造装备软件设计中应突出硬件、软件的激励、响应相互之间的完整时序设计,对于关键性的时序设计要求绘制详细的时序设计图,并应保证在响应时序中留有充足的响应时序裕量,以克服各种不确定性因素对于执行时序过程的影响,不应以功能试验验证是否可行的粗糙方法来实现所谓的时序验证。在时序设计中还应充分贯彻“切分-切换”的细粒度时序设计思路。

6.3.5 智能制造装备软件设计开发中应采用在线实时仿真开发仪实施在线实时仿真,采用编制一段程序,即采用在线实时仿真开发仪在线实时仿真一段程序,以全面验证程序效果的正确性、可靠性,避免开发一大段甚至全部程序,再进行功能调试、验证,而不关注所有结果以及细节的做法。必要时,还应作严格的软件评估、验证。

6.3.6 智能制造装备软件设计开发中应充分贯彻“协调”和“关联”的智能化技术准则,各功能子模块之间的开发密切注意保证协调与关联。只有这样才能充分保证装备整体上的智能。除了充分关注各参数功能上的协调与关联效果外,特别要仔细考核其在时序上的协调性与关联性。

6.3.7 智能制造装备软件设计开发中,除了关注控制参数的实现外,更要强调对于控制状态的充分保障,不应将控制状态的保障推卸给电气、机械维护、维修人员,对于整个装备的控制状态应一管到底。因此在整个软件的开发中,应将控制状态诊断与控制状态不圆满的弥补性控制作为软件开发的主要的、重要的部分,开发的状态诊断与控制状态弥补性控制的软件模块代码量占比一般应远超对于工艺参数的控制软件模块,至低限度也应保证二者大致相匹敌。

6.3.8 智能制造装备软件设计开发中应充分融合入软件陷阱以及采用逻辑判断指令、条件转移指令等关键指令重复执行等类许多灵活的可靠性措施,并充分配合硬件共同实现防止程序“跑飞”等故障,充分运用多种多样的软件抗干扰技术如互监督技术等,提升整体装备的可靠性。

6.3.9 智能制造装备软件设计开发中应全面融入在线故障智能诊断程序和智能容错功能,特别是充分利用多CPU的优势,运用硬件软件互监督故障智能诊断模式,并且采用多模式、多层次可靠性措施的迭加,以进一步提升装备可靠性。

6.3.10 在智能制造装备软件设计开发中应严格完成以下规定的所有开发步骤:

- a) 进行至少三项分析即数据流分析、信号流分析、时序分析;
- b) 在a)的基础上进行至少三项软件初步设计步骤,即软件结构设计、软件模块设计、程序流程图设计;
- c) 进行过程与时序图设计,这是保障功能完整实现的非常重要的一个环节;
- d) 采用汇编语言编制程序并采用在线实时仿真仪对于所编制程序进行逐段仿真验证,而且并非将汇编语言源程序编制好再逐段用在线实时仿真仪仿真,而是要求编制一段程序仿真验证一段程序;
- e) 为充分发挥智能技术效能,在软件开发过程中应将智能技术、数字技术及数据融合技术、可靠性技术等充分融合到所开发软件中。

6.3.11 在智能制造装备软件设计开发中应审慎选用软件开发工具,除了6.3.3中规定在底层开发中应采用汇编语言编程外,中、上层尤其应用层面开发原则上可以采用中高级语言开发工具,如C、C++、java、python等。

7 智能制造技术详细设计要求

7.1 自动化技术详细设计要求

7.1.1 在智能制造装备自动化技术方面的设计中,在对性价比充分衡量的前提下,对于测控装置的应用应尽量采用目前国内、国际更先进的技术,如尽量采用新型传感器及更先进的检测原理、采用智能仪表、精密仪器、与工业机器人、专用机器人密切结合、采用精密传动装置、更现代的伺服执行机构以及液气密元件及系统等。

7.1.2 在智能制造装备自动化技术方面的技术开发中,应尽力针对传统自动化装备中设备层的检测仪表、执行机构等(尤其模拟检测仪表、模拟执行机构)以数字化技术和数据融合技术进行全方位数字化改造。宜将本文件所倡导的智能体系结构技术思路也推行到检测仪表、执行机构的技术改造升级中。

7.1.3 在智能制造装备自动化技术方面的设计中应采用工程技术人员在对于控制生产线对象深入调查研究的基础上,从智能技术的角度,依据平行分布、并行处理、“多层递阶”的模式,依据智能制造的技术方法,采用“协调”和“关联”的智能制造技术思路,采用新型自动化技术思路,开发全新的智能自动化技术,不应采取过时的、理论化的经典控制理论或现代控制理论控制模型直接进行校正设计。

7.2 智能化技术详细设计要求

7.2.1 在智能制造装备智能化技术方面的设计中,应首先满足和解决智能制造装备的首要的基本功能,

例如灌装自动化生产线,首先要解决洗瓶、烘瓶、灌装、加塞、封盖等一系列基本功能;又如,5轴5联动机器人操作中每轴的轴转速、轴加速度、进刀量等多参数的同时采集、同时运算决策、同时控制执行。

7.2.2 在智能制造装备智能化技术方面的设计中,首先是要实现对于工艺中多参数的“关联”与“协调”的控制,充分满足、保障多参数控制的关联性与协调性要求,以实现智能制造工艺过程比传统工艺过程更高质量的运行。

7.2.3 在智能制造装备智能化技术方面的设计中,应在满足基本功能的同时,宜考虑解决来自智能制造装备内部或外部的扰动,以下举一些克服内部或外部扰动的例子加以说明:

- a) 对于加工过程中环境温度、相对湿度、气压等方面的自适应调节;
- b) 对于加工过程中辅助条件扰动方面的自适应调节,如智能加工装备冷却液、润滑油压力、流量等辅助加工条件扰动方面的自适应调节;
- c) 各种加工参数在各种扰动情况下的智能优化与智能选择;
- d) 对于来自交流或直流伺服驱动系统或气动、液动伺服驱动系统的扰动的智能优化;
- e) 智能自动化生产线机构的振动、间歇、机构动作迟滞等类各种扰动的调节优化;
- f) 来自系统内部、外部其它扰动的自适应调节。

7.2.4 在智能制造装备智能化技术方面的设计中,应在运行全过程中不间断地以自适应调节技术手段处理来自装备系统内部的扰动(主要体现为偶然性故障或周期性故障),最常采用的自适应调节技术手段一是状态诊断与状态不足弥补性控制技术手段,另一例是智能故障诊断与容错技术手段。

7.2.5 在智能制造装备智能化技术方面的设计中,还应解决与分布系统各部分有机智能衔接问题,即完成各部分信息通信与交互以及各部分关联、协调调节功能。

7.2.6 在智能制造装备智能化技术方面的设计中,还应解决智能制造装备与整个制造、管理、销售其他环节高层次需求的对接,如制造柔性化、个性化、订制化生产、工艺管理、企业生产制造管理、质量监督、仓储与物流、商务、售后技术服务等。

7.3 数字化、网络化技术详细设计要求

7.3.1 由于智能制造装备数字、网络系统是专属于在智能制造装备中进行信息服务的系统,应严格遵循智能制造装备实时控制中的实时性、连续性和同步性。

- a) 实时性原则:在智能制造装备中的信息系统应保证信息的响应在规定的允许时间范围内。
- b) 连续性原则:信息系统的设计应保证在制造进程的中途不发生任何在时间进程中信息中断情况。
- c) 同步性原则:智能制造装备有别于其他制造装备的关键特征是着重按照系统中多参数之间的关联、协调关系进行信息处理与过程控制,因此信息系统的设计应保证在多输入、多输出、多参数、多因素、多任务之间的信息严格关联与同步,以保障相关信息中的关联性与协调性。

7.3.2 在智能制造装备中开发数字化技术大量的基础任务是在对于过程参数、控制参数采集以及控制量的执行中以自主创新开发的数字化装置取代传统的模拟装置,以获取数字技术所带来的最大效能。

7.3.3 在智能制造装备开发中对于数字化技术的推进还体现在对于数据融合技术的大量应用上。即仅采用少量的、有限的参数检测仪表或传感器,而大量采用数据融合技术来取得更大量、更深化的数据信息。以期达到在尽量减少对于大量仪表或传感器的依赖,亦即减少更多经费投入的情况下,还要获取更多量甚至更深化的数据信息。

注:如在液态系统内仅靠液位计检测数据,依据数据融合技术即可获取同一液态系统内相应的压力、流量数据信息。

7.3.4 在智能制造装备开发中对于控制状态的诊断和故障的诊断应充分借助数字化技术以及数据融合技术予以实现,充分挖掘数字化技术的诸多优势。

7.3.5 在智能制造装备开发中应自主创新开发底层快速局部总线或网络,以充分保证整个系统复杂任务的恰当的“化整为零”、各部分信息快速顺畅并适时地传输与沟通,以最终保障各部分任务充分地关联与协调。

8 技术开发人员要求

- 8.1 参与智能制造装备技术开发的人员应满足 T/CI 1148 的相关规定。
- 8.2 参与智能制造装备技术开发的人员应满足 GB/T 39116—2020 中第 5 章所规定的第 5 级即引领级的要求。
- 8.3 参与智能制造装备技术开发的人员应满足 GB/T 39116—2020 中 7.2 和 7.3 中所规定的要求。
- 8.4 参与智能制造装备技术开发的人员应掌握第 5 章中规定的关于智能制造装备硬件、软件开发的所有思路、技术与技能,并在功能任务的“化整为零”、硬件和软件的分级-分层-分段、信息的相互沟通、时序的分配安排、相互关联与协调、自适应、自学习、自组织等诸开发技术技能方面应得心应手。
- 8.5 参与智能制造装备技术开发的人员应掌握 6.1、6.2 和 6.3 中规定的底层硬件软件自主知识产权型设计的技术、技能,尤其是时序设计的能力、采用汇编语言编程开发和采用在线仿真开发仪调试的技能。
- 8.6 参与智能制造装备技术开发的人员应掌握第 7 章中规定的对于智能制造技术中所包含的新型自动化技术、智能化技术、数字化技术和网络化技术的全部开发技术与技能。
- 8.7 参与智能制造装备技术开发的人员应掌握本文件和与本文件关联的相关标准所规定的关于产品转化和产品生产方面的技术植入方面的技能。
- 8.8 参与智能制造装备技术开发的人员应充分理解本文件中关于装备可靠性要求是高于一切技术要求的表述,应充分掌握可靠性技术技能,能够确保所开发智能制造装备具备高度的可靠性、稳定性、强壮性与健壮性,充分保证所开发、生产的智能制造装备其平均故障间隔时间(MTBF)远长于国家标准对于相关装备的规定。

参 考 文 献

- [1] 国家智能制造标准体系建设指南(2024年版)
 - [2] 智能制造发展规划(2016—2020年)(工信部联规[2016]349号)
 - [3] IEC TR 63283-1 Industrial-process measurement, control and automation—Smart manufacturing—Part 1: Terms and definitions)
-

全国团体标准信息平台

中国国际科技促进会
团体标准
智能制造的多CPU平行分布、并行
处理、多层递阶的智能体系结构
第1部分：通用技术要求

T/CI 1171.1—2025

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100029)

网址 www.spc.net.cn

总编室:(010)68533533 发行中心:(010)51780238

读者服务部:(010)68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

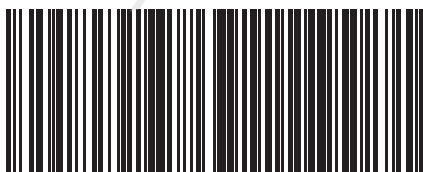
*

开本 880×1230 1/16 印张 1.25 字数 29 千字
2025年12月第1版 2025年12月第1次印刷

*

书号:155066·5-18246 定价 43.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68510107



T/CI 1171.1—2025